doi:10.13866/j.azr.2019.03.21

# 内蒙古荒漠草原降水有效性分析
## ——基于苏尼特右旗过程降水量的监测①

方婷婷[1]，闫勇智[1]，刘庆福[1]，朱 羚[1]，韩 芳[2]，张 庆[1]
(1. 内蒙古大学生态与环境学院,内蒙古 呼和浩特 010021;
2. 内蒙古自治区生态与农业气象中心,内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘 要:** 研究选取内蒙古苏尼特右旗,通过分析2015年5月至2016年12月日降水数据和同期不同深度土壤(0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm,30~40 cm和40~50 cm)含水量日连续观测数据,探讨降水事件对荒漠草原土壤含水量的影响。结果表明:① 降水量对表层土壤(0~10 cm,10~20 cm)含水量影响最剧烈,且2层土壤含水量与降水量存在显著的正相关关系,其余3层土壤含水量对降水事件响应不显著。② 0~10 cm、10~20 cm土壤层的最小有效降水量分别为6.4 mm和8.33 mm。③ 结合最小有效降水量进一步推导0~10 cm及10~20 cm土壤层的有效降水转化率发现,0~10 cm土壤最大有效降水转化率可达到95%,但是大部分都是在70%左右;10~20 cm最大有效降水转化率可达90%,但是大部分都是在50%左右。

**关键词:** 土壤含水量;有效降水;过程降水量;苏尼特右旗;内蒙古



全球气候变化已经成为各国政治、经济、科学等领域重点关注的问题。全球气候变化(极端天气气候事件、全球变暖和冰川融化等事件)已经严重影响到人类的生活和发展[1],甚至导致降水格局发生改变,全世界的降水分布从“北湿南干”向“北干南湿”转变,而且这种趋势还在加剧。我国极端降水在华北和四川盆地有显著减少的趋势,而在西部地区、长江流域和东南沿海有上升趋势。我国西北西部、长江中下游部分地区极端强降水日数在增加,华北和华南部分地区极端强降水日数在减少[2-4]。内蒙古地区自西向东分别是荒漠-荒漠草原-典型草原-森林草原分布格局,处于干旱、半干旱地区,其生态系统十分脆弱,一旦遭到破坏难以恢复[5]。在气候变化的影响下,内蒙古草地类型分布形成了明显的经度地带性,一方面,降水、气温等关键生态因子的变化对生态群落主要优势物种的生理生态过程产生影响,如蒸散、分解和光合作用等,同时对生态系统的功能也产生显著影响,使草地生态系统在不同尺度上形成适应气候变化的植被类型。气温和降水作为影响草地类型划分的重要指标[6],受降水的影响,越趋向大陆中心,就越干旱,气温的年、日较差也越大,植被也由森林过渡到草原、荒漠[7-8]。荒漠草原是荒漠与典型草原间的缓冲地带,由于生态环境的严酷性和气候的波动性,生态系统十分脆弱,具有发生荒漠化的潜在危险[9-10]。

土壤含水量是反映降水量的指标之一,降水对生态系统的影响主要通过土壤含水量的变化来实现,土壤含水量的变化进一步调控生态系统的结构和功能[11-13]。由于有效降水的大小受地形地貌、降水特征、土壤特性、植物生长状况等因素的影响,不同时间、不同地区的最小有效降水是不同的[14]。其次,由于不同植被的耕种或根系吸收水分的土壤深度不同,即使降水量一样,对不同深度土壤的水分补给效果也是不同的[15-18]。因此,从土壤含水量变化的角度研究不同时期、不同深度土壤最小有效降水量是很有意义的[19-20]。目前,关于降水量的研究主要集中于总体的有效降水量[21-24],在土壤含水量层面对于最小有效降水量的研究较少,对荒漠草原降水有效性的研究同样比较少。本文主要是通过气象站仪器收集的土壤含水量和过程降水量,分别计算出过程降水量与土壤含水量之间的变化关系,确定内蒙古苏尼特荒漠草原不同深度土壤的最小有效降

① **收稿日期:** 2018-08-20; **修订日期:** 2018-12-07
**基金项目:** 国家自然科学基金(31560180);内蒙古自治区科技计划项目(201601061);内蒙古自然科学基金(2016MS0320)及内蒙古自治区科技计划项目《基于多源卫星遥感的内蒙古干旱监测预警研究》资助
**作者简介:** 方婷婷(1994-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为草地生态学. E-mail:849926970@qq.com
**通讯作者:** 韩芳. E-mail:hanfang0520@126.com

水量和有效降水转化率，以期为以后的研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古苏尼特荒漠草原，其行政区处于内蒙古苏尼特右旗境内。该区属温带干旱大陆性气候，年平均气温 4.4 ℃，年平均降水量 177.2 mm，主要植物群落类型为小针茅(*Stipa klemenzii*) + 无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*) + 碱韭(*Allium polyrhizum*)[14]。2008 年 5 月在该区设立中国农业科学院苏尼特温带荒漠草原资源与生态环境野外科学观测试验站(112°40′25″E、42°46′52″N，1 079 m)，并于 2009 年 5 月建立了一座小型全天候气象观测站，长期观测降雨、地温、土壤相对含水量、气温及 $CO_2$ 浓度等指标。该地区土壤类型为棕钙土。

### 1.2 研究数据获取

土壤含水量和过程降水量要素数据每 30 min 监测 1 次。其中，使用点滴式雨量桶测定降雨量(*R*，mm)；由时域反射仪(TDR)监测地表以下 50 cm 土层的土壤相对含水量(VWC50，%)。所有探头测定频率均为 10 Hz，365 d 连续监测。本研究观测数据为 2015 年 5 月至 2016 年 12 月。

### 1.3 研究数据分析

在无降水期间，土壤含水量通过蒸腾、地表径流和植物根系吸收等作用发生变化，因此，该期间的土壤变化含水量平均值视为净土壤含水变化量。降水发生后，当土壤含水变化量大于净土壤含水变化量时，阻止土壤含水变化量减少趋势的降水量被视为有效降水量。最小有效降水是指当土壤含水变化量大于净土壤含水变化量时，有效降水量中的最小降水量。查阅文献对土壤含水变化量与过程降水量存在函数关系作定性分析，公式为：

$$y = ax^c$$

式中：$y$ 表示土壤含水变化量(%)；$x$ 表示过程降水量(mm)。通过函数关系反映土壤含水变化量与过程降水量关系，从而确定最小有效降水量。

根据王文玉等[25]的研究，最小有效降水量确定后，进一步研究有效降水量与土壤含水变化量的函数关系：

$$y = a(x-b)^c$$

式中：$b$ 表示最小有效降水量(mm)；$x-b$ 表示超出最小有效降水量的降水(mm)，即理论上的有效降水量。

根据上述土壤含水变化量与过程降水量函数关系，确定有效降水转化率公式。通过数学换算及求导得出：

$$\frac{d(y)}{d(x-b)} = \frac{ace^{c\ln(x-b)}}{x-b}$$

该公式反映了有效降水量转化为土壤含水量的比例，因此，$a$、$c$ 值间接反映出有效降水的转化率。降水转化率是结合现有数据，对有效降水量转化为土壤含水量进行分析。

使用 SigmaPlot 10.0 软件将采集到的数据进行统计处理及制图，使用 SPSS 22.0 进行相关性检验与分析，对苏尼特右旗的过程降水量及土壤含水变化量进行分析。

## 2 研究结果及分析

### 2.1 过程降水量与各层土壤含水变化量动态分析

图 1 ~ 5 分别为各层土壤含水变化量与过程降水量的动态关系。通过比较各层土壤拟合曲线的相关系数发现，表层土壤含水变化量(0 ~ 10 cm，10 ~ 20 cm)随着过程降水量的增加而增加，说明土壤在一定程度上受降水的影响，并且 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土壤含水变化量对降水量响应显著；深层土壤含水变化量(20 ~ 30 cm，30 ~ 40 cm，40 ~ 50 cm)对降水量的响应不显著。

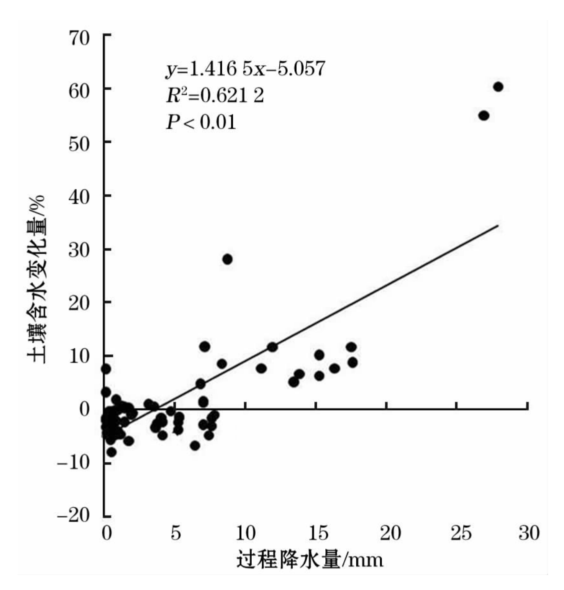



图 1 0 ~ 10 cm 土壤含水变化量动态变化

Fig. 1 Dynamic change of soil moisture content in 0 − 10 cm soil layer

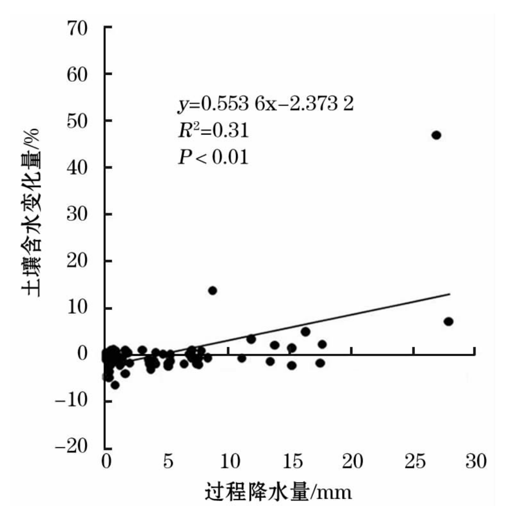



图 2　10 ~ 20 cm 土壤含水变化量动态变化

Fig. 2　Dynamic change of soil moisture content in 10 – 20 cm soil layer

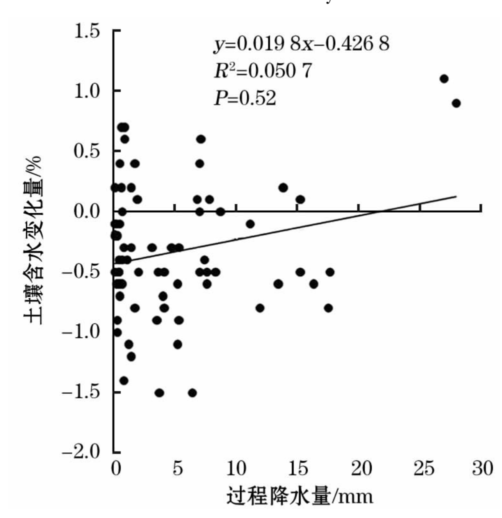



图 3　20 ~ 30 cm 土壤含水变化量动态变化

Fig. 3　Dynamic change of soil moisture content in 20 – 30 cm soil layer

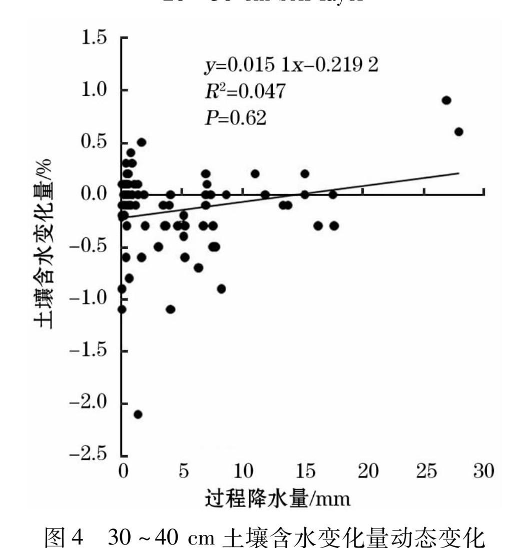



图 4　30 ~ 40 cm 土壤含水变化量动态变化

Fig. 4　Dynamic change of soil moisture content in 30 – 40 cm soil layer

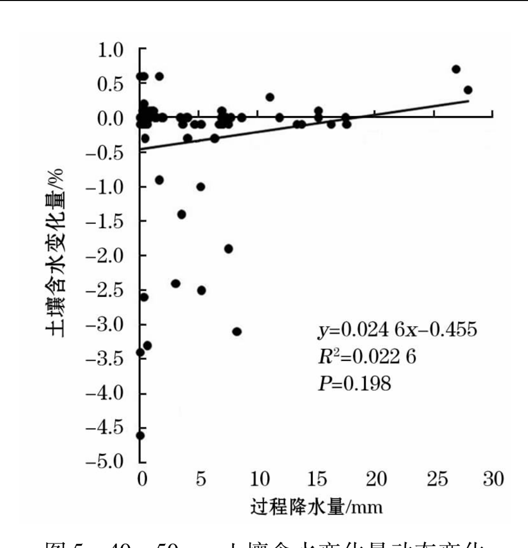



图 5　40 ~ 50 cm 土壤含水变化量动态变化

Fig. 5　Dynamic change of soil moisture content in 40 – 50 cm soil layer

## 2.2　10 cm 和 20 cm 土壤有效过程降水量变化及最小有效降水量

根据无降水时期 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土壤含水变化量分别为 −1.07%、−1.51%，当降水事件发生后，0 ~ 10 cm 及 10 ~ 20 cm 土壤含水增加量分别大于 −1.07% 及 −1.51% 时，则降水为有效降水量。在无降水时期 10 cm 土壤主要是以蒸腾、地表径流土壤保水性差等原因导致土壤含水量减少，20 cm 土壤是因植被根系吸收水分能力和土壤类型等原因导致土壤含水量较少。结合图 6 和图 7 得出的 10 cm 土壤最小有效降水量为 6.4 mm，20 cm 土壤最小有效降水量为 8.33 mm。再利用现有数据中的正值得出土壤含水变化量与有效降水量函数关系。

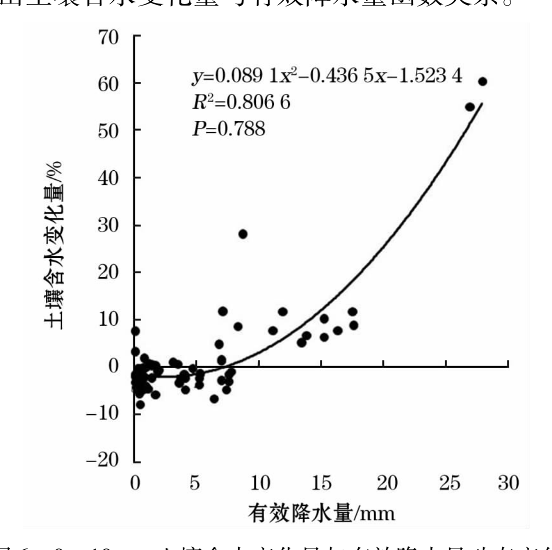



图 6　0 ~ 10 cm 土壤含水变化量与有效降水量动态变化

Fig. 6　Dynamic change of soil moisture content in 0 – 10 cm soil layer and effective precipitation

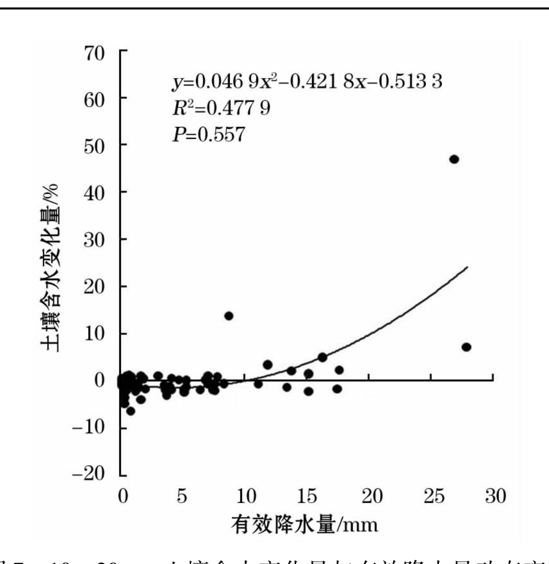



图 7　10～20 cm 土壤含水变化量与有效降水量动态变化

Fig. 7　Dynamic change of soil moisture content in 10－20 cm soil layer and effective precipitation

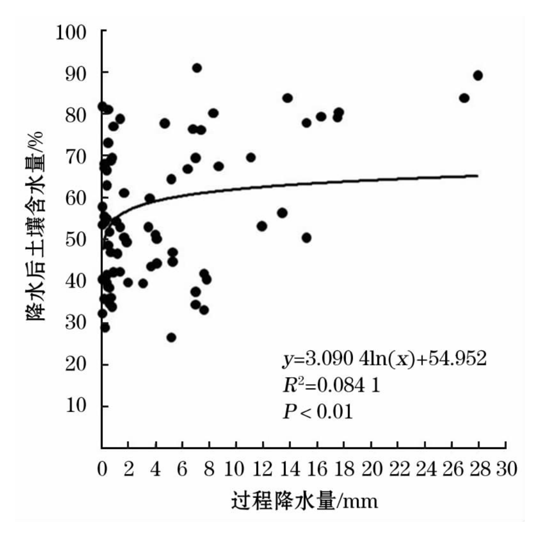



图 8　降水后 0～10 cm 土壤含水量与过程降水量动态变化

Fig. 8　Dynamic change of soil moisture content in 0－10 cm soil layer after precipitation and storm precipitation

根据图 6 和图 7 可知其函数关系分别为：

$$y_{10} = 0.047\,6x^{2.057\,4}\,(10\ \mathrm{cm})$$

$$y_{20} = 0.669\,8x^{0.495\,9}\,(20\ \mathrm{cm})$$

**2.3　10 cm 和 20 cm 土壤有效降水转化率**

在确定 10 cm 土壤最小有效降水量为 6.4 mm 和 20 cm 土壤最小有效降水量为 8.33 mm，得出土壤含水变化量与过程降水量函数关系：

$$y_{10} = 0.047\,6(x-6.4)^{2.057\,4}\,(10\ \mathrm{cm})$$

$$y_{20} = 0.669\,8(x-8.33)^{0.495\,9}\,(20\ \mathrm{cm})$$

分别根据 10 cm 土壤含水变化量、20 cm 土壤含水变化量与有效降水量函数关系，从而确定了有效降水转化率公式。通过数学换算及求导得出：

$$\frac{\mathrm{d}(y)}{\mathrm{d}(x-b)} = \frac{ace^{c\ln(x-b)}}{x-b} =$$

$$\frac{0.097\,932\,24e^{2.057\,4\ln(x-6.4)}}{x-6.4}\,(10\ \mathrm{cm})$$

$$\frac{\mathrm{d}(y)}{\mathrm{d}(x-b)} = \frac{ace^{c\ln(x-b)}}{x-b} =$$

$$\frac{0.334\,538\,2e^{0.495\,9\ln(x-8.33)}}{x-8.33}\,(20\ \mathrm{cm})$$

该公式反映了有效降水量转化为土壤含水量的比例，因此，$a$、$c$ 值间接反映出有效降水的转化率[25]。同时，图 8 和图 9 分别反映了 0～10 cm 和 10～20 cm 土壤含水量与过程降水量动态关系，发现随着降水量的增加，土壤含水量趋于饱和，降水转化率呈现降低的趋势。当降水大于有效降水量时，

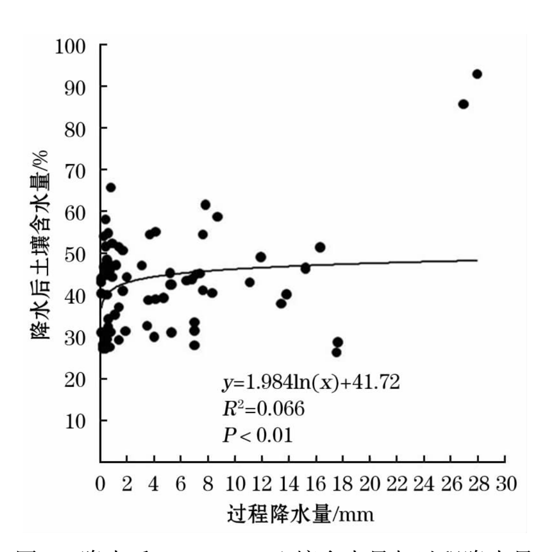



图 9　降水后 10～20 cm 土壤含水量与过程降水量动态变化

Fig. 9　Dynamic change of soil moisture content in 10－20 cm soil layer after precipitation and storm precipitation

降雨下渗到土层中，但由于径流、截留等影响，降水不可能 100% 转化为土壤含水量。结合图 8、图 9 以及现有数据发现，10 cm 土壤有效降水转化率大部分都能达到 70% 左右，最大可能达 95%；20 cm 土壤有效降水转化率大部分达到 50% 左右，最大可能达 90%。

## 3　讨 论

气候因子中降水是影响半干旱区草原类型的主要因素，因为降水会改变植物的生长状态从而影响草原类型[26－29]。荒漠草原是相比草甸草原和典型

草原降水量最少的草原类型。由图 1 ~5 可以看出,苏尼特右旗的降雨主要影响浅层 20 cm 左右的土壤,土壤含水量变化较大。夏季降水频繁且降水量多,但是植物的蒸腾、地表径流、土壤的呼吸作用以及植被根系吸收等因素导致降水无法渗入土壤深层,仅仅影响到表层土壤的含水量[13]。高降雨强度、降雨事件发生前土壤含水量较高都有利于雨水的下渗(图 1 ~5)。例如 2016 年 8 月 23 日的降水量达到 26.9 mm,对深层土壤产生了影响,这与其他地区研究结论是一致的[30]。可见,荒漠草原深层土壤含水量的补给需要中等雨以上强度的降雨。

根据本研究结果发现,该地区 10 cm 土壤最小有效降水量为 6.4 mm,20 cm 土壤最小有效降水量为 8.33 mm,并且本研究中发生的总降水事件为 71 次,无效降水事件发生次数是 51 次,占总降水事件的 69%;影响 0 ~20 cm 土壤的降水事件 11 次,所占比例 15%,影响 20 cm 以上深层土壤的降水事件 12 次,占 16%,表明研究区一半以上降水为无效降水。其原因主要有气温高,水分蒸发量大;植被覆盖低,水分利用率低,保存水量少,地表径流流失;荒漠地区与土壤类型、植被根系分布以及吸水能力等有关[31-32]。在有效降水转化率方面,本研究发现 10 cm 土壤有效降水转化率大部分达到 70% 左右,最大可能达到 95%;20 cm 土壤有效降水转化率大部分达到 50% 左右,最大可达 90%。当降水量大于有效降水量时,降雨下渗到土层中,但由于径流、截留和土壤类型等影响,降水量不可能 100% 转化为土壤含水量。降水有效性、转化率低,将加剧降水稀少的荒漠草原的干旱程度,进一步导致土壤沙化,生产力降低,甚至威胁当地畜牧业的发展,使荒漠草原生态环境更加脆弱。

草甸草原地区年降水量 350 ~500 mm,雨水适中,在 3 类草原类型中草甸草原降水量最为丰富[33]。典型草原所在地区年降水量为 250 ~450 mm,雨水较适中,降水量较为丰富。然而,荒漠草原年降水量小于 200 mm,大多是沙漠、戈壁。此外,受全球气候变化影响,该地区四季温差大、风沙大、蒸发大,干旱程度不断加深[34]。相比其他 2 种草原,荒漠草原降水量最少,蒸发量较大[35]。根据年平均降水量发现,苏尼特右旗地区的荒漠草原类型降水最少,降水量很不稳定,地表水缺乏,干旱十分严重。了解到该地区近几十年来超载过牧、乱采滥挖、滥垦等,草地退化、沙化现象十分严重,有趋向于暖干化方向发展[36]。结合本研究内容,分析苏尼特右旗地区主要气候特征的变化,有利于改善该地区的生态环境,提高当地生产,准确及有针对性的进行生态建设工程和合理安排农牧业生产[30]。还可以根据本研究内容推测出内蒙古地区荒漠草原的降水情况与最小有效降水量,结合全球气候变化问题,改善荒漠草原地区的生态环境,减少草原干旱化、沙化的趋势,有利于应对全球气候变化,并且对提高和加强荒漠草原的开发与治理有重要意义。

**参考文献(References):**


〔1〕 Lei Wen,Charles A Lin. 全球气候变化及其影响〔J〕. 水科学进展,2003,14(5):667 -674.〔Lei Wen,Charles A Lin. Global climate change and its impacts〔J〕. Advances in Water Science,2003,14(5):667 -674.〕

〔2〕 邹用昌,杨修群,孙旭光,等. 我国极端降水过程频数时空变化的季节差异〔J〕. 南京大学学报(自然科学版),2009,45(1):98 -109.〔Zou Yongchang,Yang Xiuqun,Sun Xuguang,et al. Seasonal difference of the spatio-temporal variation of the number of the extreme precipitation processes in China〔J〕. Journal of Nanjing University(Natural Science Edition),2009,45(1):98 -109.〕

〔3〕 Su B D,Jiang T,Jin W B. Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin,China〔J〕. Theoretical & Applied Climatology,2006,83(1 -4):139 -151.

〔4〕 Zhai P,Zhang X,Wan H,et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China〔J〕. Journal of Climate,2005,18(7):1 096 -1 108.

〔5〕 张彬,朱建军,刘华民,等. 极端降水和极端干旱事件对草原生态系统的影响〔J〕. 植物生态学报,2014,38(9):1 008 -1 018.〔Zhang Bin,Zhu Jianjun,Liu Huamin,et al. Effect of extreme rainfall and drought events on grassland ecosystems〔J〕. Chinese Journla of Plant Ecology,2014,38(9):1 008 -1 018.〕

〔6〕 陈敏玲,张兵伟,任婷婷,等. 内蒙古半干旱草原土壤水分对降水格局变化的响应〔J〕. 植物生态学报,2016,40(7):658 -668.〔Chen Minling,Zhang Bingwei,Ren Tingting,et al. Responses of soil moistuer to precipitation pattern change in semiarid grasslands in Inner Mongolia,China〔J〕. Chinese Journla of Plant Ecology,2016,40(7):658 -668.〕

〔7〕 韩芳,牛建明,刘朋涛,等. 气候变化对内蒙古荒漠草原牧草气候生产力的影响〔J〕. 中国草地学报,2010,32(5):57 -65.〔Han Fang,Niu Jianming,Liu Pengtao,et al. Impact of climate change on forage potential climatic productivity in desert steppe in Inner Mongolia〔J〕. Chinese Journal of Grassland,2010,32(5):57 -65.〕

〔8〕 苏力德,杨劼,万志强,等. 内蒙古地区草地类型分布格局变化及气候原因分析〔J〕. 中国农业气象,2015,36(2):139 -148.〔Su Lide,Yang Jie,Wan Zhiqiang,et al. Climate change and its impacts on distribution pattern of grassland types in Inner Mongolia〔J〕. Chinese Journal of Agrometeorology,2015,36(2):139 -

148.]

〔9〕 王永利,云文丽,王炜,等.气候变暖对典型草原区降水时空分布格局的影响〔J〕.干旱区资源与环境,2009,23(1):82-85.〔Wang Yongli,Yun Wenli,Wang Wei,et al. Effect of climate warming on spatial pattern and temporal change of precipitation in typical steppe〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2009,23(1):82-85.〕

〔10〕 李晓兵,陈云浩,张云霞,等.气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响〔J〕.地球科学进展,2002,17(2):254-261.〔Li Xiaobing,Chen Yunhao,Zhang Yunxia,et al. Impact of climate on desert steppe in Northern China〔J〕. Advane in Earth Sciences,2002,17(2):254-261.〕

〔11〕 Tong S,Zhang J,Bao Y,et al. Inter-decadal spatiotemporal variations of aridity based on temperature and precipitation in Inner Mongolia,China〔J〕. Polish Journal of Environmental Studies,2017,26(2):819-826.

〔12〕 宋海清,李云鹏,张静茹,等.内蒙古地区多种土壤湿度资料的初步评估〔J〕.干旱区资源与环境,2016,30(8):139-144.〔Song Haiqing,Li Yunpeng,Zhang Jingru,et al. Evaluation of soil moisture over Inner Mongolia using milti-data〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(8):139-144.〕

〔13〕 王辉.内蒙古极端天气事件及其与区域气候的相互关系〔D〕.呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.〔Wang Hui. The Study on Extreme Weather Events and the Relationship with Regjional Climate in Inner Mongolia〔D〕. Hohhot:Inner Mongolia Agricultural University,2015.〕

〔14〕 常昌明,牛建明,王海,等.小针茅荒漠草原土壤水分动态及其对降雨的响应〔J〕.干旱区研究,2016,33(2):260-265.〔Chang Changming,Niu Jianming,Wang Hai,et al. Dynamic change of soil moisture and its response to rainfall in a *Stipa klemenzii* steppe〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(2):260-265.〕

〔15〕 Hao L,Sun G,Liu Y Q,et al. Evapotranspiration and soil moisture dynamics in a temperate grassland ecosystem in Inner Mongolia,China〔J〕. Transactions of the Asabe,2016,59(2):577-590.

〔16〕 Kang M,Dai C,Ji W,et al. Biomass and its allocation in relation to temperature,precipitation,and soil nutrients in Inner Mongolia grasslands,China〔J〕. Plos One,2013,8(7):e69561.

〔17〕 Zhang Y,Liu J,Xu X,et al. The response of soil moisture content to rainfall events in semi-arid area of Inner Mongolia〔J〕. Procedia Environmental Sciences,2010,2(1):1 970-1 978.

〔18〕 叶冬梅,秦佳琪,韩胜利,等.乌兰布和沙漠流动沙丘不同部位水分动态研究〔J〕.干旱区研究,2005,22(3):367-370.〔Ye Dongmei,Qin Jiaqi,Han Shengli,et al. Study on the dynamic change of soil moisture content at the different sites of mobile dunes in Ulanbuh Desert,Inner Mongolia〔J〕. Arid Zone Research,2005,22(3):367-370.〕

〔19〕 吴见,刘民士,李伟涛.干旱半干旱区土壤含水量定量反演技术研究〔J〕.干旱区资源与环境,2014,28(1):26-31.〔Wu Jian,Liu Minshi,Li Weitao. Research on soil moisture content inversion technologies in arid and semiarid area〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2014,28(1):26-31.〕

〔20〕 Gao T,Si Y,Yan W,et al. Typical synoptic types of spring effective precipitation in Inner Mongolia,China〔J〕. Meteorological Applications,2014,21(2):330-339.

〔21〕 吉中礼.干旱半干旱地区的有效雨量及其确定方法(综述)〔J〕.干旱地区农业研究,1985,3(1):100-107.〔Ji Zhongli. Effective rainfall in arid and semi-arid regions and its determination methods (review)〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,1985,3(1):100-107.〕

〔22〕 魏雅芬,郭柯,陈吉泉.降雨格局对库布齐沙漠土壤水分的补充效应〔J〕.植物生态学报,2008,32(6):1 346-1 355.〔Wei Yafen,Guo Ke,Chen Jiquan. Effect of precipitation pattern on recruitment of soil water in Kubuqi desert,Northwester China〔J〕. Chinese Journla of Plant Ecology,2008,32(6):1 346-1 355.〕

〔23〕 杨燕山,陈渠昌,郭中小,等.内蒙古西部风沙区耕地有效降雨量适宜计算方法〔J〕.内蒙古水利,2004(1):67-70.〔Yang Yanshan,Chen Quchang,Guo Zhongxiao,et al. Suitable calculation method for effective rainfall of cultivated land in the sandstorm area of Western Inner Mongolia〔J〕. Inner Mongolia Water Resources,2004(1):67-70.〕

〔24〕 原鹏飞,丁国栋,王炜炜,等.毛乌素沙地降雨入渗和蒸发特征〔J〕.中国水土保持科学,2008,6(4):23-27.〔Yuan Pengfei,Ding Guodong,Wang Weiwei,et al. Characteristics of rainwater infiltration and evaporation in Mu Us Sandland〔J〕. Science of Soil and Water Conservation,2008,6(4):23-27.〕

〔25〕 王文玉,张强,阳伏林.半干旱榆中地区最小有效降水量及降水转化率的研究〔J〕.气象学报,2013,71(5):952-961.〔Wang Wenyu,Zhang Qiang,Yang Fulin. Study of the minimum available precipitation and the precipitation conversion rate in the semi-arid Yuhong region〔J〕. Acta Metearologica Sinica,2013,71(5):952-961.〕

〔26〕 王晓江,章中,赵文义.荒漠草原土壤水分动态研究〔J〕.内蒙古林业科技,1994(3):15-20.〔Wang Xiaojiang,Zhang Zhong,Zhao Wenyi. Study on soil water dynamics in desert steppe〔J〕. Inner Mongolia Forestry Science & Technology,1994(3):15-20.〕

〔27〕 周景春,苏玉杰,张怀念,等.0~50 cm 土壤含水量与降水和蒸发的关系分析〔J〕.中国土壤与肥料,2007(6):23-27.〔Zhou Jingchun,Su Yujie,Zhang Huainian,et al. Analysis on 0-50 cm soil moisture content and precipitation and evaporation relationship〔J〕. Soil and Fertilizer Sciences in China,2007(6):23-27.〕

〔28〕 张学礼,胡振琪,初士立.土壤含水量测定方法研究进展〔J〕.土壤通报,2005,36(1):118-123.〔Zhang Xueli,Hu Zhenqi,Chu Shili. Methods for measuring soil water content:A review〔J〕. Chinese Journal of Soil Science,2005,36(1):118-123.〕

〔29〕 黄仲冬,齐学斌,樊向阳,等.土壤水分有效性及其影响因素定量分析〔J〕.水土保持学报,2014,28(5):71-76.〔Huang Zhongdong,Qi Xuebin,Fan Xiangyang,et al. Quantitative analysis of soil water availability and its influencing factors〔J〕. Journal of Soil and Water Conservation,2014,28(5):71-76.〕

〔30〕 成兆金,张晓丽.土壤水分自动观测站资料评估方法〔J〕.中国农学通报,2017,33(35):113-118.〔Cheng Zhaojin,Zhang Xiaoli. Evaluation method of data from soil moisture automatic observa-

tion station〔J〕. Chinese Agricultural Science Bulletin,2017,33(35):113 - 118.〕

〔31〕 苏莹,陈林,李月飞,等. 荒漠草原不同类型土壤水分时空变化特征〔J〕. 干旱区研究,2018,35(6):1 308 - 1 316.〔Su Ying, Chen Lin, Li Yuefei, et al. Spatiotemporal variation of moisture content of different soil types in desert steppe〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(6):1 308 - 1 316.〕

〔32〕 姚俊强,杨青,毛炜峄,等. 西北干旱区大气水分循环要素变化研究进展〔J〕. 干旱区研究,2018,35(2):269 - 276.〔Yao Junqiang, Yang Qing, Mao Weiyi, et al. Progress of study on variation of atmospheric water cycle factors over arid region in Northwest China〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(2):269 - 276.〕

〔33〕 柴曦,梁存柱,梁茂伟,等. 内蒙古草甸草原与典型草原地下生物量与生产力季节动态及其碳库潜力〔J〕. 生态学报,2014,34(19):5 530 - 5 540.〔Chai Xi, Liang Cunzhu, Liang Maowei, et al. Seasonal dynamics of belowground biomass and poteneial of carbon sequestration in meadow steppe and typical steppe, in Inner Mongolia, China〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2014,34(19):5 530 - 5 540.〕

〔34〕 沈兴芝,魏海宏. 内蒙古苏尼特右旗荒漠化草原主要气候特征分析〔J〕. 内蒙古科技与经济,2008(6):189 - 190,192.〔Shen Xingzhi, Wei Haihong. Analysis of main climate characteristics of desertification grassland in Suniteyou district of Inner Mongolia〔J〕. Inner Mongolia Science Technology & Economy,2008(6):189 - 190,192.〕

〔35〕 朱利凯,蒙吉军. 内蒙古中部地区近 40 年来降水时空变化〔J〕. 干旱区研究,2010,27(4):536 - 544.〔Zhu Likai, Meng Jijun. Spatiotemporal variation of precipitation in the central Inner Mongolia in recent 43 yreas〔J〕. Arid Zone Research,2010,27(4):536 - 544.〕

〔36〕 蒋菊芳,王润元,陈雷,等. 不同气候年型对荒漠植物生长的影响〔J〕. 干旱区研究,2017,34(3):524 - 530.〔Jiang Jufang, Wang Runyuan, Chen Lei, et al. Growth of desert plants in different climate years〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(3):524 - 530.〕



# Precipitation Effectiveness in Desert Steppe in Inner Mongolia: Based on Monitoring of Storm Precipitation in Sonid Right Banner

FANG Ting-ting[1], YAN Yong-zhi[1], LIU Qing-fu[1], ZHU Ling[1], HAN Fang[2], ZHANG Qing[1]

(1. *College of Ecology and Environment*, *Inner Mongolia University*, *Hohhot* 010021, *Inner Mongolia*, *China*;

2. *Inner Mongolian Ecological and agrometeorological Center*, *Hohhot* 010051, *Inner Mongolia*, *China*)

**Abstract:** Climate change has become as one of the global issues in common concern. Water is one of the main limiting factors in semiarid grasslands. The change of precipitation pattern results in the change of soil moisture status. The effect of precipitation events on soil moisture content in desert steppe was studied based on the analysis of the daily precipitation data from May 2015 to December 2016 and the daily continuous observation data of soil moisture content at different depths (0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm, 30 - 40 cm and 40 - 50 cm). The results showed that: ① The effect of precipitation on topsoil (0 - 10 cm and 10 - 20 cm) moisture content was the most significant, and there was a significant positive correlation between the soil moisture content of these two layers and precipitation. The response of soil moisture content of other three layers to precipitation events was not significant; ② The minimum volumes of effective precipitation to 0 - 10 cm and 10 - 20 cm soil layers were 6.4 mm and 8.33 mm respectively; ③ Inferred the minimum effective precipitation, it was found that the conversion rate of effective precipitation to soil moisture in 0 - 10 cm layer could be as high as 95%, but it was mostly about 70%; it could be as high as 90% in 10 - 20 cm soil layer, but it was mostly about 50%.

**Key words:** soil moisture content; effective precipitation; storm precipitation; Sonid Right Banner; Inner Mongolia